

10/535105  
Rec'd PCT/PTO 16 MAY 2005  
PCT/JP 2004/005592

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

20.4.2004

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日  
Date of Application: 2003年 6月 5日

出 願 番 号  
Application Number: 特願2003-161219  
[ST. 10/C]: [JP 2003-161219]

REC'D 10 JUN 2004	
WIPO	PCT

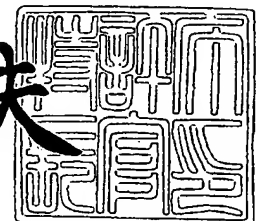
出 願 人  
Applicant(s): 株式会社村田製作所

PRIORITY DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

2004年 5月28日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今井康夫



BEST AVAILABLE COPY

出証番号 出証特2004-3045677

【書類名】 特許願  
【整理番号】 20030028  
【提出日】 平成15年 6月 5日  
【あて先】 特許庁長官 殿  
【国際特許分類】 G02B 6/12

## 【発明者】

【住所又は居所】 大阪府箕面市栗生新家 2 - 1 - 2 7  
ヴェルドミール 2 0 5 号室

【氏名】 桐原 聡秀

## 【発明者】

【住所又は居所】 大阪府池田市槻木町 1 - 1 4 - 2 0 2

【氏名】 宮本 欽生

## 【発明者】

【住所又は居所】 京都府長岡京市天神二丁目 2 6 番 1 0 号  
株式会社村田製作所内

【氏名】 中川 卓二

## 【発明者】

【住所又は居所】 京都府長岡京市天神二丁目 2 6 番 1 0 号  
株式会社村田製作所内

【氏名】 田中 克彦

## 【特許出願人】

【識別番号】 000006231

【氏名又は名称】 株式会社村田製作所

## 【代理人】

【識別番号】 100084548

## 【弁理士】

【氏名又は名称】 小森 久夫

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 013550

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9004875

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 3次元周期構造体およびその製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項1】 互いに誘電率の異なる第1・第2の物質が3次元空間内で周期性をもって分布している複数の3次元周期構造体領域を備え、3次元周期構造体における第1の物質の誘電率と第2の物質の誘電率との誘電率比を該複数の3次元周期構造体で異ならせたことを特徴とする3次元周期構造体。

【請求項2】 互いに誘電率の異なる第1・第2の物質が3次元空間内で周期性をもって分布している複数の3次元周期構造体領域を備え、各3次元周期構造体の平均誘電率に違いをもたせたことを特徴とする3次元周期構造体。

【請求項3】 前記第1の物質は光硬化性樹脂の活性化により硬化した樹脂であり、該樹脂によって空間部が3次元周期をもって分布した結晶型部をなし、前記第2の物質は樹脂中にセラミックス粒子が分散した物質であり、該第2の物質を前記空間部に充填したことを特徴とする請求項1または2に記載の3次元周期構造体。

【請求項4】 前記第1の物質はセラミックス粒子が分散した光硬化性樹脂の活性化により硬化した樹脂であり、該樹脂によって空間部が3次元周期をもって分布した結晶型部をなし、前記第2の物質は樹脂であり、該第2の物質を前記空間部に充填したことを特徴とする請求項1または2に記載の3次元周期構造体。

【請求項5】 前記第2の物質は熱硬化性樹脂または熱可塑性樹脂であり、該第2の物質を前記空間部に充填した後、熱硬化させたことを特徴とする請求項1～4のいずれかに記載の3次元周期構造体。

【請求項6】 複数の3次元周期構造体を配置するとともに、該配置方向に沿って前記誘電率比を増加方向または減少方向の一方向に傾斜させた請求項1～5のいずれかに記載の3次元周期構造体。

【請求項7】 前記周期性の1周期を0.1 [mm] 以上30 [mm] 以下にしたことを特徴とする請求項1～6のいずれかに記載の3次元周期構造体。

【請求項8】 形成すべき断面パターンの光照射を光硬化性樹脂に対して層

毎に繰り返す光造形法により、3次元の周期性をもった第1の物質による構造体を光造形し、且つ該3次元周期構造体を複数の領域に区分する仕切りを設ける工程と、

樹脂中にセラミックス粒子が分散され、該セラミックス粒子の含有比率が異なる複数種の第2の物質を、前記第1の物質による構造体の各領域内の空間部に真空脱泡法によりそれぞれ充填する工程と、

前記第2の物質を硬化させる工程と、からなる3次元周期構造体の製造方法。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

#### 【発明の属する技術分野】

この発明は、3次元周期構造体およびその製造方法に関するものである。

##### 【0002】

#### 【従来の技術】

固体結晶中において、原子核により構成される周期的なポテンシャル分布は、格子定数に見合う波長の電子波に対して干渉作用を示す。すなわち、電子波の波長が結晶のポテンシャル周期に非常に近い場合には、3次元的な回折作用（ブラッグ回折）により反射が起こる。この現象により特定のエネルギー領域に含まれる電子はその通過を禁止される。これが半導体デバイスなどに利用される電子バンドギャップの形成である。

##### 【0003】

同様に、屈折率もしくは誘電率が周期的に変化する3次元構造は、電磁波に対する干渉作用を示し、特定周波数領域の電磁波を遮断する。この場合、禁止帯はフォトリックバンドギャップと呼ばれ、上記3次元構造体はフォトリック結晶と呼ばれる。

##### 【0004】

上記作用を利用して、フォトリック結晶を、例えば所定周波数帯域の電磁波の透過を遮断するカットオフフィルタとして用いたり、上記周期的な構造中に周期を乱す不均一部分を導入して、その部分に光や電磁波が閉じ込める導波路や共振器として用いたりすることが考えられている。また、光の超低閾値レーザーや電

磁波の高指向性アンテナ等への応用も考えられている。

#### 【0005】

一般にフォトニック結晶中において、電磁波のブラッグ回折が起こるときには、二種類の定在波が形成される。図6はその二種類の定在波を示している。定在波Aは、波の振動が低誘電率領域で高いエネルギーを有し、定在波Bは、波の振動が高誘電率領域で高いエネルギーを有する。この二つの異なるモードにスプリットした定在波間のエネルギーを有する波は結晶中に存在できないので、バンドギャップが生じる。

このフォトニック結晶には1次元、2次元、3次元の構造体があるが、完全なフォトニックバンドギャップを得るためには3次元構造が必要である。

#### 【0006】

3次元構造を作るためには、例えば角材積層型（特許文献1、特許文献2）や自己クローニングによる形状保存多層膜を用いた方法（特許文献3）、光造形を用いる方法（特許文献4、特許文献5）、粒子を並べる方法（特許文献6）等がある。これらの公報には、有機材料、セラミック、Si等の絶縁体、誘電体、半導体材料を加工しフォトニック結晶を作る技術が開示されている。また、樹脂組成物および誘電体粒子の混合物を硬化させることにより構成した3次元周期構造体（特許文献7）が開示されている。

#### 【0007】

##### 【特許文献1】

特表2001-518707公報

##### 【特許文献2】

特開2001-74955公報

##### 【特許文献3】

特開2001-74954公報

##### 【特許文献4】

特開2000-341031公報

##### 【特許文献5】

特表2001-502256公報

## 【特許文献 6】

特開 2001-42144 公報

## 【特許文献 7】

特開 2001-261977 公報

## 【0008】

## 【発明が解決しようとする課題】

これらのフォトリック結晶から得られるフォトリックバンドギャップは、構成される 2 つの物質の誘電率や屈折率のコントラストが大きい程大きく広がることが知られている。

## 【0009】

しかしながら、これらの実用的な物質は、例えば 10～30GHz 帯域での比誘電率は 15、屈折率は 3.0 程度が限界であり、空気との誘電率や屈折率の差（または比）をそれ以上高めることは困難であった。そのため、一定誘電率の誘電体で構成した 3 次元周期構造体では広範囲なフォトリックバンドギャップが得られなかった。

## 【0010】

この問題の解決方法として、種々のバンドギャップを有する周期構造体を重ね合わせてバンドギャップを広げることが考えられる。すなわち、特許文献 4 に開示されているように、セラミック誘電体材料を分散させた光硬化性樹脂を用いて光造形した構造体や、セラミック誘電体材料を分散させた固体を並べた構造物により格子定数を連続的に変化させたり、誘電率の異なる結晶体を造る方法が有効である。しかしながら、分散させるセラミック材料により、光硬化性樹脂の硬化が阻害されたり、透過率が阻害されて光造形が困難となる。そのため、利用可能な材料が限定され、セラミック誘電体材料の分散量も限られてしまう。

## 【0011】

この問題を解消するために、樹脂組成物および誘電体粒子の混合物を硬化させる特許文献 7 に開示されている方法も有効であるが、誘電体材料を複合化するため、誘電率が低下しやすい。また、セラミック誘電体材料を分散させた熱硬化性樹脂や熱可塑性樹脂塊を並べて構造体を造る方法では、ダイヤモンド構造などの

複雑な構造体を得ることは困難である。

#### 【0012】

一方、特許文献5には、光造形で作成した樹脂構造体に高誘電率セラミックスを分散させた樹脂を含浸させてフォトニック結晶を作成する方法が示されている。しかし、この特許文献5の開示内容だけでは広範囲なフォトニックバンドギャップを得ることはできない。

#### 【0013】

そこで、この発明の目的は、従来構造では得られなかった広範囲なフォトニックバンドギャップを有する3次元周期構造体およびその製造方法を提供することにある。

#### 【0014】

##### 【課題を解決するための手段】

この発明は、互いに誘電率の異なる第1・第2の物質が3次元空間内で周期性をもって分布している複数の3次元周期構造体領域を備え、3次元周期構造体における第1の物質の誘電率と第2の物質の誘電率との誘電率比を該複数の3次元周期構造体で異ならせたことを特徴としている。

このように、第1・第2の物質の誘電率比が異なった複数の3次元周期構造体領域を配置したことにより、各3次元周期構造体領域によるフォトニックバンドギャップの特性を重ね合わせて、広い周波数帯域に亘るフォトニックバンドギャップを得る。

#### 【0015】

また、この発明は、互いに誘電率の異なる第1・第2の物質が3次元空間内で周期性をもって分布している複数の3次元周期構造体領域を備え、各3次元周期構造体の平均誘電率に違いをもたせたことを特徴としている。

この構造により、上記平均誘電率に応じて周波数帯の異なった位置に現れるフォトニックバンドギャップの重ね合わせにより、広い周波数帯域に亘るフォトニックバンドギャップを得る。

#### 【0016】

また、この発明は、前記第1の物質を光硬化性樹脂の活性化により硬化した樹



脂とし、該樹脂によって空間部が3次元周期をもって分布した結晶型部をなし、前記第2の物質を樹脂中にセラミックス粒子が分散した物質とし、該第2の物質が前記空間部に充填されていることを特徴としている。

この構造により、第1の物質による3次元周期構造を高精度且つ容易に形成し、しかも高誘電率の第2の物質が3次元周期構造をなすように、容易に構成可能とする。

#### 【0017】

また、この発明は、前記第1の物質をセラミックス粒子が分散した光硬化性樹脂の活性化により硬化した樹脂とし、該樹脂によって空間部が3次元周期をもって分布した結晶型部をなし、前記第2の物質を前記空間部に充填した樹脂としたことを特徴としている。

この構造によっても、誘電率の異なった第1・第2の物質による3次元周期構造を高精度且つ容易に構成可能とする。

#### 【0018】

また、この発明は、前記第2の物質を熱硬化性樹脂または熱可塑性樹脂とし、該第2の物質を前記空間部に充填した後、熱硬化させたことを特徴としている。この構造により、全体が固体の3次元周期構造体を容易に構成可能とする。

#### 【0019】

また、この発明は、複数の3次元周期構造体を配置するとともに、該配置方向に沿って前記誘電率比を増加方向または減少方向の一方向に傾斜させたことを特徴としている。

この構造により、第1・第2物質間の誘電率比の異なる互いに隣接する3次元周期構造体領域それぞれのフォトリックバンドギャップの重ね合わせを有効化して、より広範囲に亘って大きなフォトリックバンドギャップを得る。

#### 【0020】

また、この発明は、前記周期性の1周期を0.1mm以上30mm以下にしたことを特徴としている。これにより、例えば10～30GHz帯域で大きなフォトリックバンドギャップを有する3次元周期構造体を得る。

#### 【0021】

また、この発明は、形成すべき断面パターンの光照射を光硬化性樹脂に対して層毎に繰り返す光造形法により、3次元の周期性をもった第1の物質による構造体を光造形し、且つ該3次元周期構造体を複数の領域に区分する仕切りを設ける工程と、樹脂中にセラミックス粒子が分散され、該セラミックス粒子の含有比率が異なる複数種の第2の物質を、前記第1の物質による構造体の各領域内の空間部に真空脱泡法によりそれぞれ充填する工程と、前記第2の物質を硬化させる工程と、から3次元周期構造体を得ることを特徴としている。

このように、第1の物質による構造体を仕切りによって複数の領域に区分して、各領域内にそれぞれセラミックス粒子の含有比率の異なる複数種の第2の物質を充填することによって、第1・第2の物質の誘電率比が異なった複数の3次元周期構造体領域を容易に配置可能とする。

#### 【0022】

##### 【発明の実施の形態】

この発明の第1の実施形態に係る3次元周期構造体およびその製造方法について各図を参照して順次説明する。

図2は、3次元周期構造体の製造過程の状態を示している。(A)は、フォトニック結晶型10の斜視図である。このフォトニック結晶型10は、3つのフォトニック結晶型ユニット10a, 10b, 10cを連結した構造をなす。各フォトニック結晶型ユニットはフォトニック結晶型部1からなり、空隙部2を有している。このフォトニック結晶型部1は後に示すように、第1の物質である比誘電率2.2のエポキシ系の光硬化性樹脂を用いて光造形法で作成されている。また、隣接するフォトニック結晶型ユニットの境界部分には仕切り11を設けていて、隣接するフォトニック結晶型ユニットの空隙部2同士が連通しない構造にしている。

#### 【0023】

フォトニック結晶型ユニット10a, 10b, 10cは、格子定数12mmのダイヤモンド結晶格子を縦2列、横2列、高さ2列分それぞれ備え、3次元周期構造を成す。

#### 【0024】

図2の(B)は、このフォトニック結晶型ユニット10をポリテトラフルオロエチレン製の含浸用型3に入れた状態を示している。

その後、図3に示すように、カバー5で不要な部分を覆って、所望のフォトニック結晶型ユニットに第2の物質を含浸させる。すなわち、そのフォトニック結晶型ユニットの空隙に第2の物質を充填する。図3に示した例では、フォトニック結晶型10a部分を開口させてカバー5を覆い、フォトニック結晶型10a部分に第2の物質を含浸させて、図2の(C)に示すように、3次元周期構造体ユニット100aを構成する。

#### 【0025】

同様にして、フォトニック結晶型ユニット10b, 10cにも第2の物質を含浸させる。但し、フォトニック結晶型ユニット10a, 10b, 10c毎に第2の物質の比誘電率を異ならせる。

#### 【0026】

上記第2の物質としては、ポリエステル樹脂にチタン酸カルシウムを分散させた樹脂を用いる。具体的には、ポリエステル樹脂として株式会社日本触媒製の「エポラックG-110AL」を用い、硬化剤として日本油脂株式会社製の「パーメックN」を用い、両者を混合して比誘電率3の硬化性ポリエステル樹脂を用意する。それに対して平均粒径 $1.5\mu\text{m}$ 、比誘電率180のチタン酸カルシウムを、硬化性ポリエステル樹脂に対して所定割合だけ混合し、攪拌し、真空脱泡する。このことによって未硬化状態の第2の物質を得る。チタン酸カルシウムの割合として、この例では30vol%, 25vol%, 20vol%の3種類とする。

#### 【0027】

上記チタン酸カルシウムの割合の異なった未硬化状態の第2の物質を、図2に示した含浸用型3内に入れたフォトニック結晶型ユニット10a, 10b, 10cに順に含浸させ、さらに含浸用型ごと全体を真空容器内に入れ、排気ポンプで排気することによって真空脱泡する。

#### 【0028】

その後、上記第2の物質を硬化させて、図2の(D)に示すような3次元周期

構造体 100 を得る。(D) において 2 は、フォトニック結晶型部 1 の空隙部に充填した第 2 の物質による充填部を示している。

図 4 は、図 2 の (A) に示したフォトニック結晶型 10 を製造する装置を示している。ここで、25 は紫外線で硬化するエポキシ系の光硬化性樹脂 28 を満たす容器である。26 は容器 25 の内部で上下方向に移動するエレベータテーブル、29 はエレベータテーブル 26 の上部に造形したオブジェクトである。27 はオブジェクト 29 の上面に光硬化性樹脂 28 を所定膜厚だけ塗布するためのスキージである。

#### 【0029】

また、20 はレーザーダイオード、21 はレーザーダイオード 20 からのレーザー光を波長変換して紫外光を発生させる調波発生素子 (LBO)、22 は波長選択素子としての音響光学素子 (AOM)、23 は走査ミラー、24 は  $f\theta$  レンズである。これらによって光学系を構成している。

#### 【0030】

このような光造形装置を用いたフォトニック結晶の製造手順は次のとおりである。

まず、エレベータテーブル 26 を光硬化性樹脂 28 の液面から所定深さまで降下させ、スキージ 27 を液面に沿った方向に移動させることによって、エレベータテーブル 26 の表面に厚さ約  $100\ \mu\text{m}$  の光硬化性樹脂膜を形成する。その状態で、(B) に示すように上記光学系によって波長  $355\ \text{nm}$  の紫外線レーザーをスポット径  $50\ \mu\text{m}$  のビームとして出力  $110\ \text{mW}$  でその液面に照射する。このとき走査ミラー 23 を制御しつつレーザーダイオード 20 を変調することによって、光硬化性樹脂 28 を硬化させるべき位置にレーザー光を照射し、その他の領域に照射しないように制御する。

#### 【0031】

上記レーザービームの照射された光硬化性樹脂 28 の液面は、その重合反応により直径約  $100\ \mu\text{m}$  の球状硬化相が形成される。この時、レーザービームを速度  $90\ \text{m/s}$  で走査すると、厚さ約  $150\ \mu\text{m}$  の硬化相が形成される。

このようにレーザービームをラスタースキャンすることによって一層目の断面

パターンに相当するオブジェクト 29 を形成する。

#### 【0032】

次に、エレベーターテーブル 26 を液面に対して約  $200\ \mu\text{m}$  降下させ、スキージ 27 の移動によって、オブジェクト 29 の表面に厚さ約  $200\ \mu\text{m}$  の光硬化性樹脂膜を形成する。

#### 【0033】

その後、一層目と同様にしてレーザービームの走査および変調を行うことによって二層目の断面パターンを一層目の上に形成する。この時、上下の層は重合硬化により接合される。三層目以降は二層目と同様である。この処理を繰り返すことによってオブジェクト 29 を造形する。

#### 【0034】

図 5 は、多数の層を形成した各段階でのオブジェクトの形状を透視斜視図として示している。(A) は、ダイヤモンド構造の結晶軸  $\langle 111 \rangle$  方向に略 1 ユニット分だけ造形した状態を示している。また (B) は、これを約 4 ユニット分造形した状態を示している。(C) は、更にこれを所定ユニット分繰り返して造形した状態を示している。

#### 【0035】

図 4 に示した装置で、光硬化性樹脂 28 の液面に対して所定の断面パターンで光硬化性樹脂 28 を硬化させるために、CAD/CAM プロセスを用いる。すなわち、図 5 に示したようなパターンは、3 次元データを扱う CAD で予め設計し、その 3 次元構造のデータを一旦 STL (Standard Triangulation Language) データに変換し、これをスライスソフトウェアによって、所定位置における 2 次元断面データの集合へ変換する。最後に、この 2 次元断面データからレーザービームをラスタースキャンさせる際にレーザーダイオードを変調するためのデータを作成する。このようにして用意したデータを基に、レーザービームの走査とともにレーザーダイオードの変調を行う。

#### 【0036】

以上の手順で造形した光硬化性樹脂によるオブジェクト 29 を容器 25 から取り出し、未硬化の光硬化性樹脂を洗浄し、乾燥させ、さらに所定サイズに切断す

ることによって、図2の(A)に示したフォトリック結晶型ユニット10を構成する。

#### 【0037】

図1は、1単位のダイヤモンド結晶格子を示している。ここで1はフォトリック結晶型部、Sは空隙部である。このダイヤモンド構造は、単位格子に8個の格子点を含み、そのうち4個ずつがそれぞれ独立の面心立方格子をつくり、一方の格子が他方を立体対角線に沿ってその長さの1/4だけ平行に移動した位置を占めるものである。

#### 【0038】

上述したように、フォトリック結晶型ユニット10a, 10b, 10cは、それぞれ格子定数12mmのダイヤモンド結晶格子を縦2列、横2列、高さ2列分それぞれ備えている。隣接するフォトリック結晶型ユニット同士の境界部分の仕切り11は、上記光造形法によって、フォトリック結晶型ユニット10a, 10b, 10c部分と同時に形成する。または、フォトリック結晶型ユニット10a, 10b, 10cを個別に作成し、仕切り11となるシートを挟んで接着するようにしてもよい。

#### 【0039】

図7は、3次元周期構造体100の特性を測定する測定装置を示している。ここで30はMバンド導波管、31, 32は導波管30内に挿入したプローブである。この導波管30の内部に試料としての3次元周期構造体100を挿入する。プローブ31, 32にはネットワークアナライザ33を接続している。このネットワークアナライザ33を用いて電磁波の伝搬特性を測定する。図7において3次元周期構造体100は、3つの3次元周期構造体ユニットの連結方向(長手方向)が導波管30の電磁波伝搬方向を向くように配置している。導波管30の内側寸法は、横20×縦10mmであり、3次元周期構造体100の寸法は導波管30の長手方向に20mm、導波管30の高さ方向に10mmである。

#### 【0040】

図8は、上記3次元周期構造体の電磁波伝搬特性を示している。(A)は比較のために、第2の物質に分散させるチタン酸カルシウムの割合を10%、20%

、30%のそれぞれについて測定した伝搬特性を示している。(B)の(1)は、チタン酸カルシウムを20%分散させた3次元周期構造体ユニットと、チタン酸カルシウムを30%分散させた3次元周期構造体ユニットとを2連結した3次元周期構造体の伝搬特性を示している。また、(2)は、図2の(D)に示したように、チタン酸カルシウムを20%、25%、30%それぞれ分散させた3次元周期構造体ユニットを3連結した3次元周期構造体の伝搬特性を示している。

#### 【0041】

ここで、図2の(D)に示した各3次元周期構造体ユニット100a、100b、100cのフォトニック結晶型部1（第1の物質）と充填部2（第2の物質）の比誘電率は表1のとおりである。

#### 【0042】

〔表1〕

3次元周期構造体ユニット		100a	100b	100c	
チタン酸カルシウム (vol%)	10	20	25	30	40
比誘電率	4.2	6.1	8.0	9.8	12.0
誘電率比	1.9	2.8	3.6	4.5	5.5
誘電率比の変化率		┌1.28倍┐ ┌1.25倍┐ ┌1.22倍┐ └——1.6倍——┘			

#### 【0043】

なお、表1において、チタン酸カルシウムを40%分散させた例は、後に引用する。

図8の(A)のように、第1・第2の物質の誘電率比が一定であれば、広範囲のフォトニックバンドギャップは得られない。また、(B)の(1)のように、隣接する3次元周期構造体間での第1・第2の物質の誘電率比の変化率が大きいと、広いバンドギャップが得られない。(2)のように、第1・第2の物質の誘電率

比に違いをもたせ、且つ隣接する 3 次元周期構造体間での第 1・第 2 の物質の誘電率比を変化させることによってバンドギャップの広帯域化が図れる。特に、本実施形態のように、隣接する 3 次元周期構造体の誘電率比を 3 次元周期構造体の配置方向に沿って増加方向または減少方向の一方向に傾斜させることにより、広い周波数帯で十分な減衰量を得ることができる。

#### 【0044】

次に、第 2 の実施形態に係る 3 次元周期構造体について、図 9 および図 10 を参照して説明する。

この 3 次元周期構造体は、第 1 の実施形態に係る 3 次元周期構造体と異なり、ダイヤモンド結晶格子部分を空隙としている。図 9 はその 1 単位の結晶格子を示している。ここで、1 は第 1 の物質からなるフォトニック結晶型部、S はその空隙部である。また、この第 2 の実施形態では、3 連結したそれぞれの 3 次元周期構造体ユニットは、チタン酸カルシウムの分散量が 20%、30%、40% の 3 種としている。その他の構造および製造方法は第 1 の実施形態の場合と同様である。

#### 【0045】

図 10 は、上記 3 次元周期構造体の電磁波伝搬特性を示している。(A) は比較のために、第 2 の物質に分散させるチタン酸カルシウムの割合を 20%、30%、40% のそれぞれについて測定した伝搬特性を示している。(B) の(1) は、チタン酸カルシウムを 20% 分散させた 3 次元周期構造体ユニットと、30% 分散させた 3 次元周期構造体ユニットを 2 連結した 3 次元周期構造体の伝搬特性を示している。また、(2) は、チタン酸カルシウムを 40% 分散させた 3 次元周期構造体ユニットと、30% 分散させた 3 次元周期構造体ユニットを 2 連結した 3 次元周期構造体の伝搬特性を示している。(3) は、チタン酸カルシウムを 20%、30%、40% それぞれ分散させた 3 次元周期構造体ユニットを 3 連結した 3 次元周期構造体の伝搬特性を示している。

#### 【0046】

このように、3 次元周期構造体毎に第 1・第 2 の物質の誘電率比に違いをもたせ、且つ隣接する 3 次元周期構造体間での第 1・第 2 の物質の誘電率比を変化さ



せることによってバンドギャップの広帯域化が図れる。

#### 【0047】

次に、第3の実施形態に係る3次元周期構造体について、図11および図12を参照して説明する。

図11は、3連結構造の3次元周期構造体を示している。この例では、フォトニック結晶型部10a, 10b, 10cのそれぞれを構成する第1の物質として、光造形樹脂である比誘電率2.8のエポキシ樹脂に対してチタン酸カルシウムを分散させている。しかも、フォトニック結晶型ユニット10a, 10b, 10cのそれぞれについてチタン酸カルシウムの濃度を異ならせている。

#### 【0048】

図12は、上記エポキシ樹脂に対するチタン酸カルシウムの分散量に対する比誘電率の関係を示している。ここで、各フォトニック結晶型ユニット10a, 10b, 10cの空隙部を空気のままとすることによって、各3次元周期構造体の第1・第2の物質の誘電率比に違いをもたせることができる。

#### 【0049】

また、更に各フォトニック結晶型ユニットの空隙部に所定比誘電率の樹脂を含浸させることによって、各3次元周期構造体ユニットにおける第1・第2の物質の誘電率比を一定にしたまま各ユニットの平均誘電率に違いをもたせることができる。

#### 【0050】

ここで、「平均誘電率」とは、「第1の物質の比誘電率と第2の物質の比誘電率との和を2で割った値」で定義されるものである。すなわち、第1の物質の比誘電率と第2の物質の比誘電率を、隣接する3次元周期構造体同士で異ならせることによって、第1・第2の物質の誘電率比を一定にしつつ、隣接する3次元周期構造体における平均誘電率を異ならせることができる。

#### 【0051】

このような場合、フォトバンドギャップの周波数軸上の位置はユニット全体の平均誘電率に依存し、フォトバンドギャップの鋭さと広がりには各ユニットにおける第1・第2の物質の誘電率比に依存する。そのため、各ユニットの第1・第2

の物質の誘電率比を略一定にしたまま平均誘電率の異なった複数の 3 次元周期構造体ユニットを組み合わせることによって、広範囲な波長で一定の減衰を成すフォトリックバンドギャップを得ることができる。

#### 【0052】

第 1～第 3 の実施形態に示したように、各 3 次元周期構造体ユニットを構成することによって、広い周波数帯で一定の減衰を成すフォトリックバンドギャップが得られる。また、表 1 に示した誘電率比の変化率を参照し、図 10 (B) の特性(1) と特性(2) を比較すると明らかなように、隣接する 3 次元周期構造体同士の誘電率比の変化率が大きくなると 2 つの減衰極  $P_a$ 、 $P_b$  の間隔が広がり過ぎて十分な減衰量が得られなくなる。したがって、十分な減衰量を得るためには、隣接する 3 次元周期構造体同士の誘電率比の変化率が 2.0 以下、さらには図 10 (B) の(1) に示した特性より良好な特性が得られるように 1.6 以下とすることが望ましい。

#### 【0053】

因みに、バンドギャップの周波数帯を広げるためには、含浸させる第 2 の物質の誘電率は一定にしておき、格子定数を変えることが考えられる。例えば、格子定数が 12 mm、13 mm、14 mm の 3 次元周期構造体を組み合わせる。このような構造では、目的とする周波数帯域にバンドギャップを得るために、3 次元周期構造体の各ユニットの大きさが不ぞろいになる、という問題が生じる。また、より高周波帯域でフォトリックバンドギャップを得るために、格子定数の小さな 3 次元周期構造体を必要とするが、小さな格子定数の部分にはセラミック分散樹脂を含浸させにくく、その製造が困難になるという問題も生じる。

#### 【0054】

なお、以上の各実施形態では、フォトリック結晶型ユニット 10 a、10 b、10 c を低誘電率樹脂とし、その空隙部に高誘電率樹脂を充填したが、これを逆に、フォトリック結晶型ユニットの空隙部に充填する樹脂をフォトリック結晶型ユニットより低誘電率としてもよい。

#### 【0055】

また、以上の各実施形態では、3 次元周期構造体の 1 周期を 12 mm としたが

、同様にしてこの周期を 0.1 mm 以上 30 mm 以下にすることにより、10～30 GHz 帯域で大きなフォトリックバンドギャップを有する 3 次元周期構造体を得ることができる。

#### 【0056】

##### 【発明の効果】

この発明によれば、3 次元周期構造体における第 1 の物質の誘電率と第 2 の物質の誘電率との誘電率比を該複数の 3 次元周期構造体で異ならせたことにより、各 3 次元周期構造体領域によるフォトリックバンドギャップの特性を重ね合わせて、広い周波数帯域に亘るフォトリックバンドギャップが得られる。

#### 【0057】

また、この発明によれば、各 3 次元周期構造体の平均誘電率に違いをもたせたことにより、その平均誘電率に応じて周波数帯の異なった位置に現れるフォトリックバンドギャップの重ね合わせにより、広い周波数帯域に亘るフォトリックバンドギャップが得られる。

#### 【0058】

また、この発明によれば、第 1 の物質を光硬化性樹脂の活性化により硬化した樹脂とし、該樹脂によって空間部が 3 次元周期をもって分布した結晶型部をなし、第 2 の物質を樹脂中にセラミックス粒子が分散した物質とし、第 2 の物質を空間部に充填したことにより、第 1 の物質による 3 次元周期構造を高精度且つ容易に形成でき、しかも高誘電率の第 2 の物質が 3 次元周期構造をなすように容易に構成できる。

#### 【0059】

また、この発明によれば、第 1 の物質をセラミックス粒子が分散した光硬化性樹脂の活性化により硬化した樹脂とし、その空間部に第 2 の物質である樹脂を充填したことにより、誘電率の異なった第 1・第 2 の物質による 3 次元周期構造を高精度且つ容易に構成できる。

#### 【0060】

また、この発明によれば、第 2 の物質を熱硬化性樹脂または熱可塑性樹脂とし、該第 2 の物質を前記空間部に充填した後、熱硬化させたことにより、全体が固

体の 3 次元周期構造体が容易に構成できる。

【0061】

また、この発明によれば、隣接する 3 次元周期構造体の誘電率比を 3 次元周期構造体の配置方向に沿って増加方向または減少方向の一方向に傾斜させたことにより、広い周波数帯域で十分な減衰量を得ることができる。

【0062】

また、この発明によれば、前記周期性の 1 周期を 0.1 mm 以上 30 mm 以下にしたことにより、例えば 10～30 GHz 帯域で大きなフォトニックバンドギャップを有する 3 次元周期構造体を得られる。

【0063】

また、この発明によれば、第 1 の物質による構造体を仕切りによって複数の領域に区分して、各領域内にそれぞれセラミックス粒子の含有比率の異なる複数種の第 2 の物質を充填することによって、第 1・第 2 の物質の誘電率比が異なった複数の 3 次元周期構造体領域が容易に配置可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 第 1 の実施形態に係る 3 次元周期構造体の 1 単位の構造を示す斜視図

【図 2】 同 3 次元周期構造体の製造工程を示す図

【図 3】 第 2 の物質の含浸充填工程を示す図

【図 4】 光造形装置の構成を示す図

【図 5】 同光造形装置によるオブジェクトの造形途中の状態を示す図

【図 6】 誘電率の異なる物質が周期性を持って分布しているときの 2 つの定在波を示す図

【図 7】 3 次元周期構造体の電磁波特性装置の構成を示す図

【図 8】 電磁波特性の測定結果を示す図

【図 9】 第 2 の実施形態に係る 3 次元周期構造体の 1 単位の構成を示す斜視図

【図 10】 同 3 次元周期構造体の電磁波特性の測定結果を示す図

【図 11】 第 3 の実施形態に係る 3 次元周期構造体の構成を示す斜視図

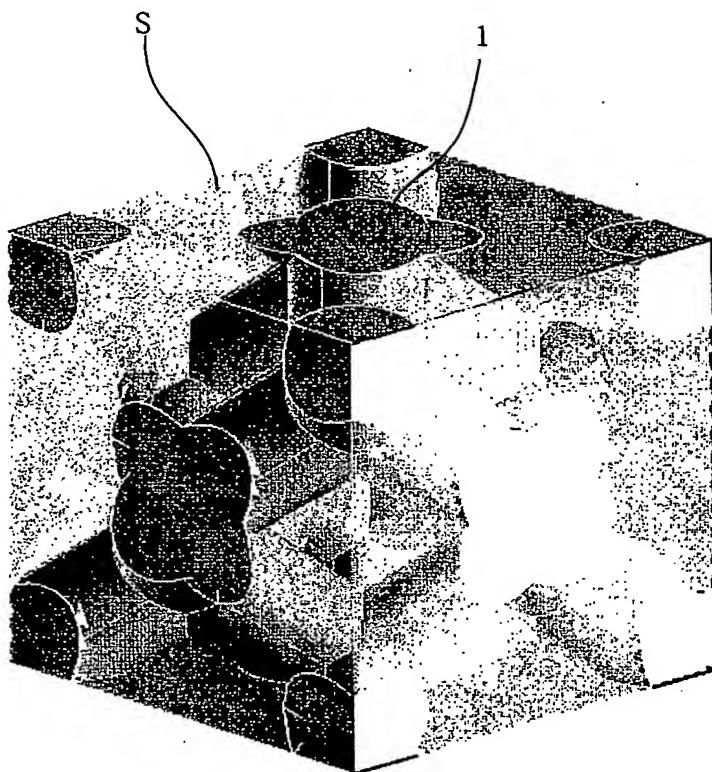
【図 12】 フォトニック結晶型部に対するチタン酸カルシウムの分散量と比誘電率との関係を示す図

【符号の説明】

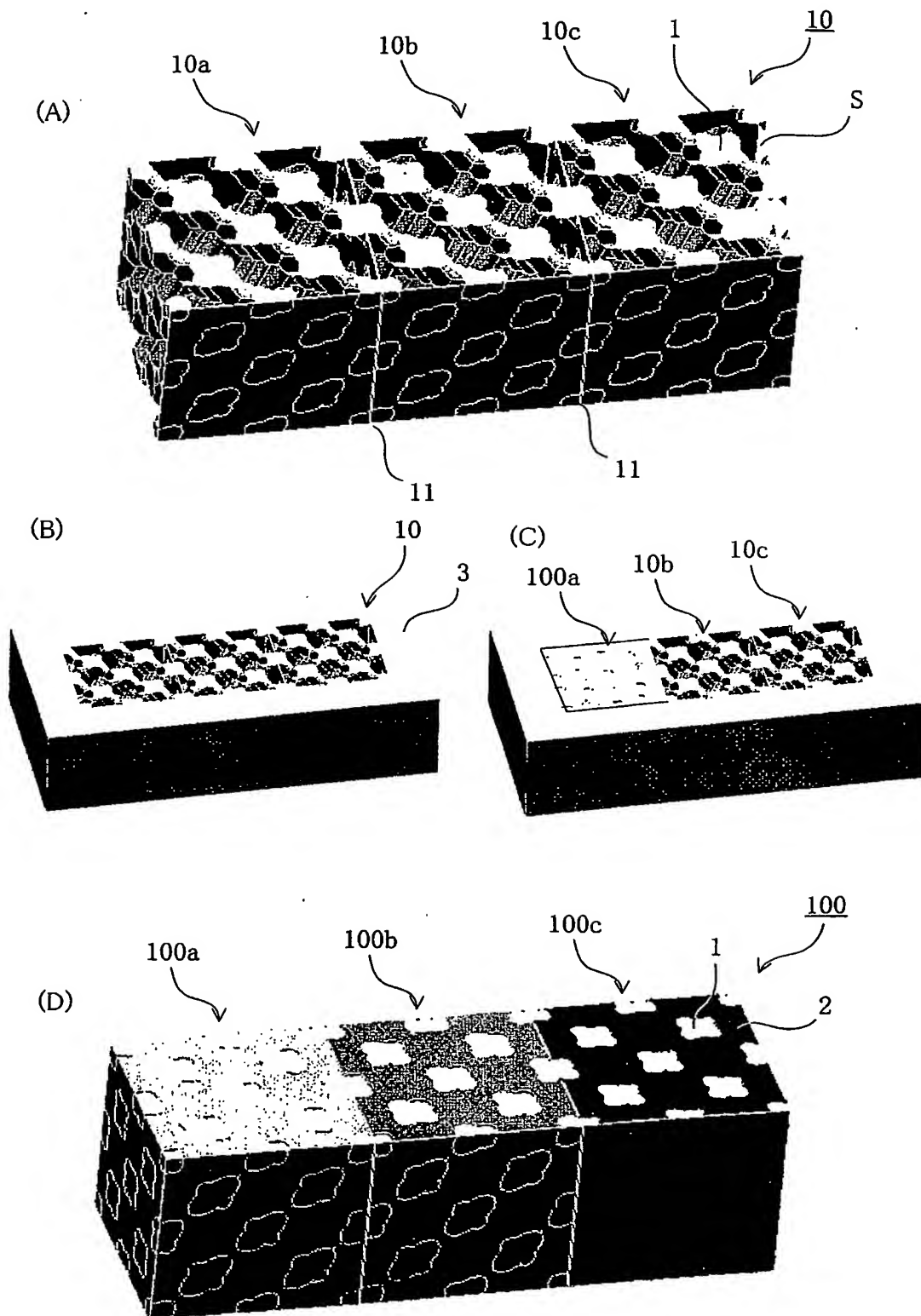
- 1－フォトニック結晶型部（第1の物質）
- 2－充填部（第2の物質）
- 3－含浸用型
- 5－カバー
- 10－フォトニック結晶型
- 10a, 10b, 10c－フォトニック結晶型ユニット
- 11－仕切り
- 100－3次元周期構造体
- 100a, 100b, 100c－3次元周期構造体ユニット
- S－空隙部

【書類名】 図面

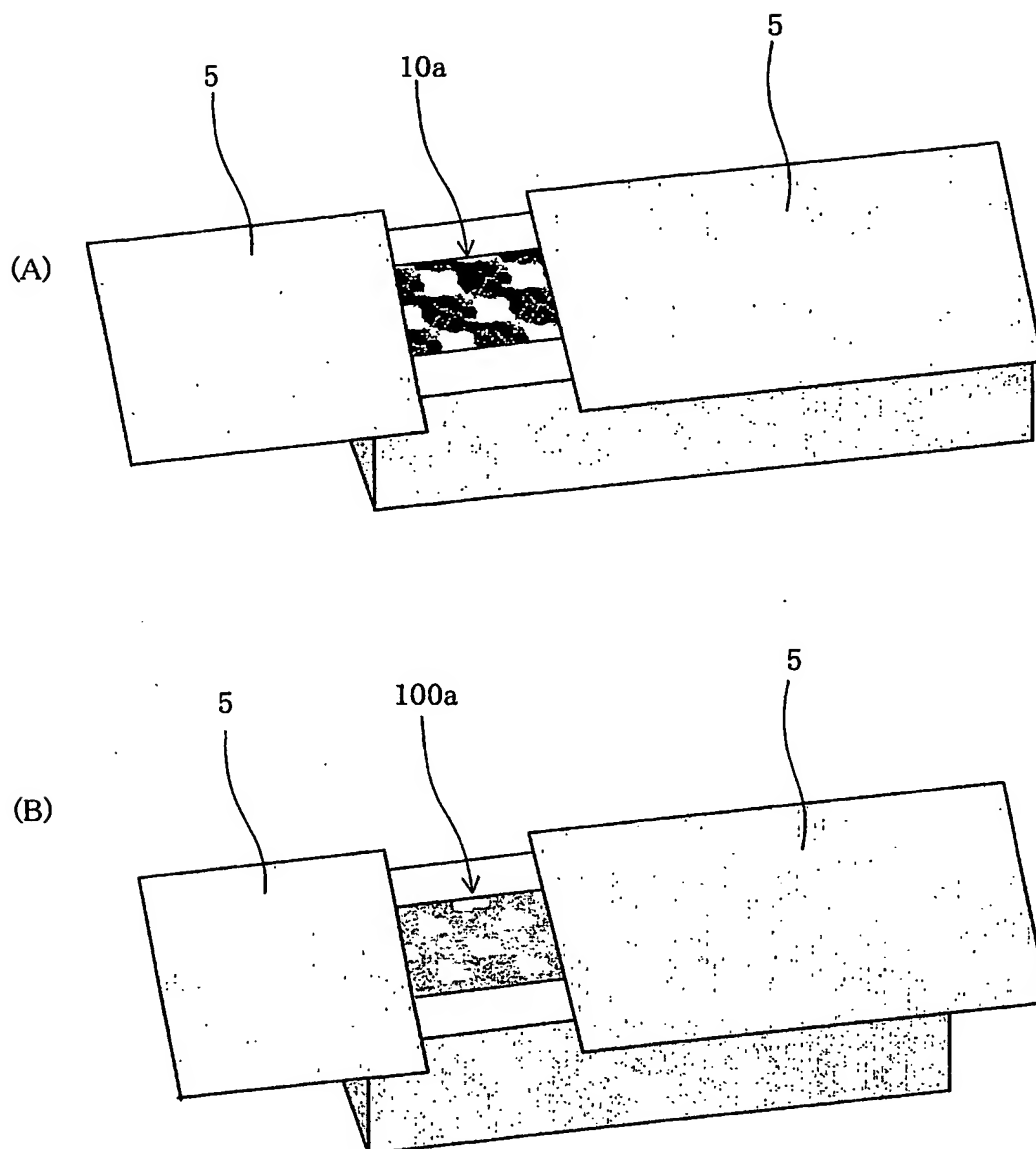
【図 1】



【図 2】

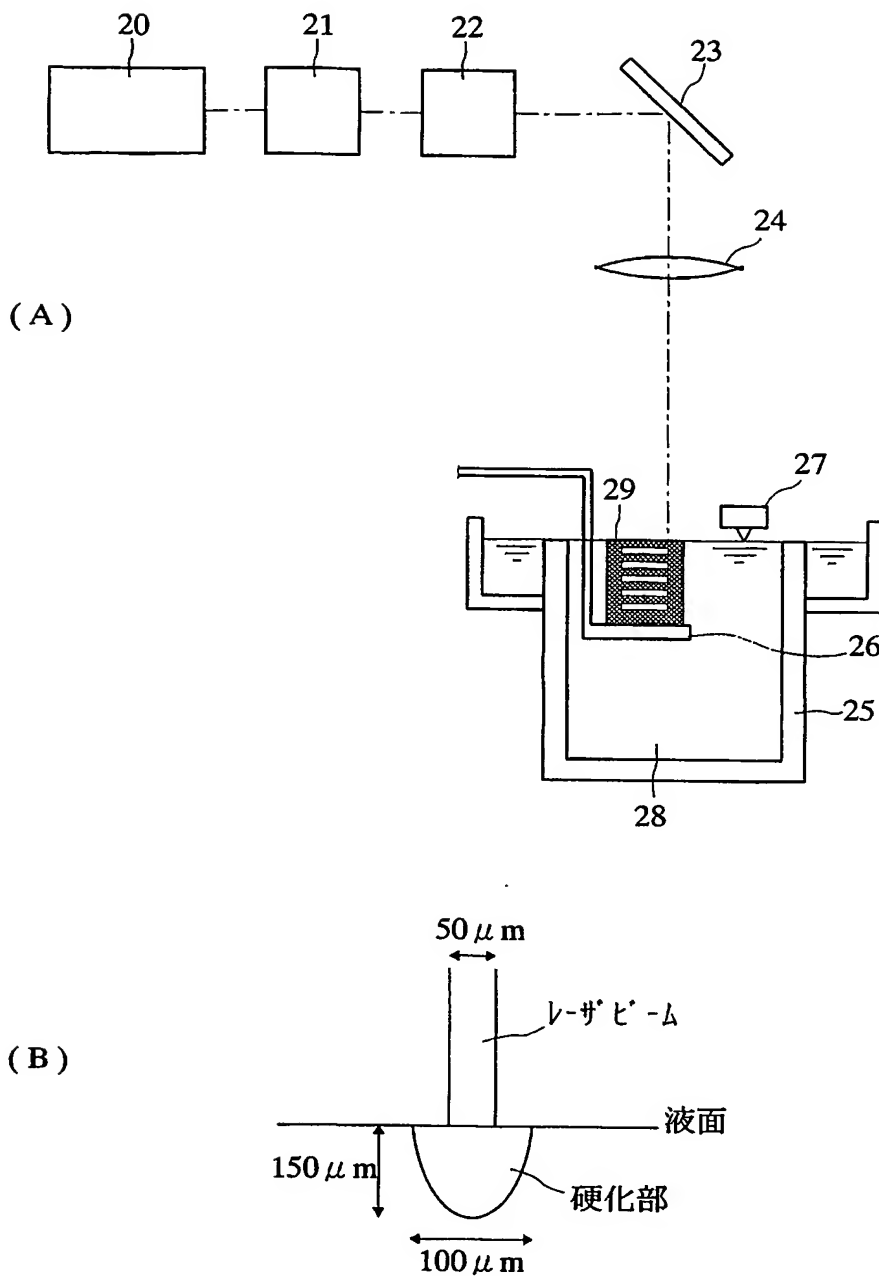


【図 3】

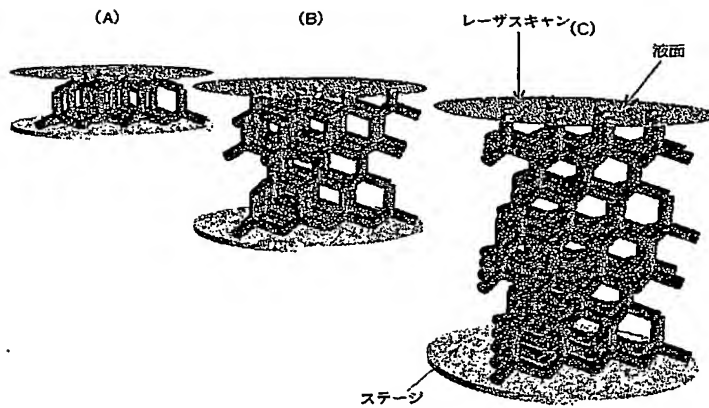




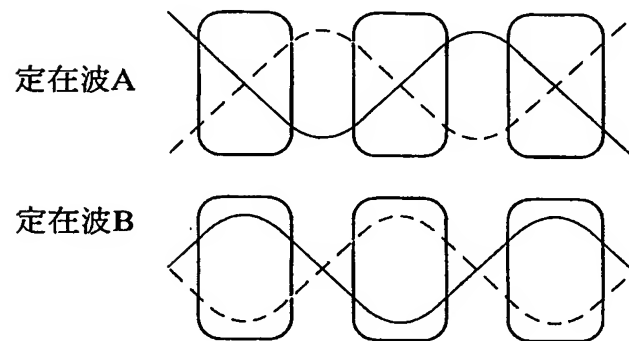
【図 4】



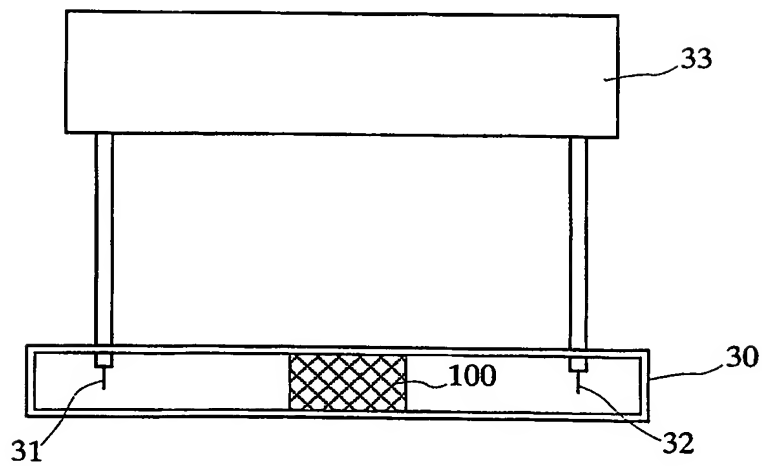
【図 5】



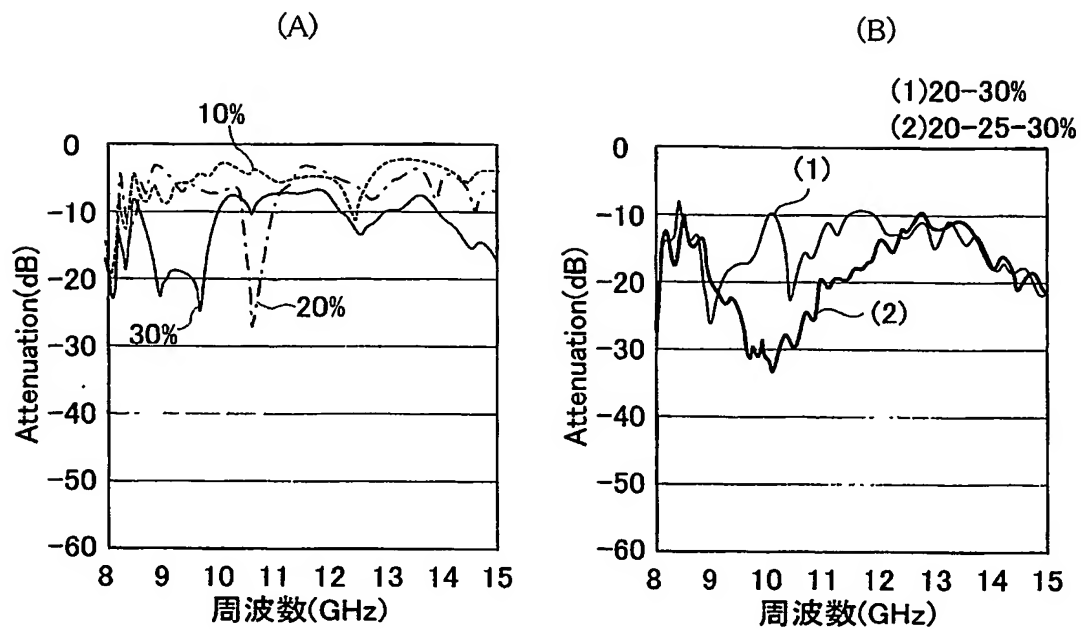
【図 6】



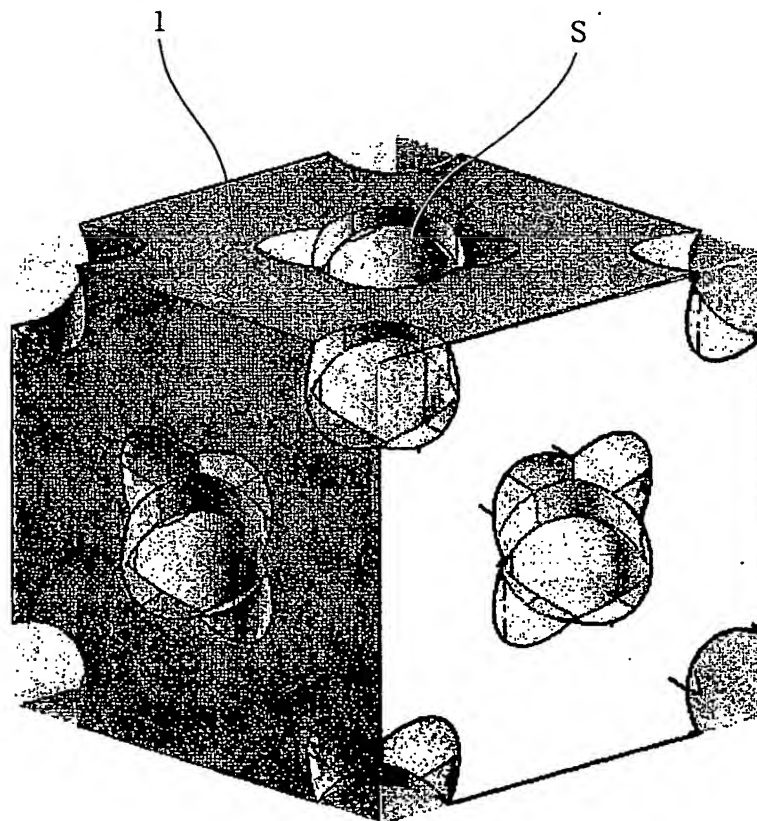
【図 7】



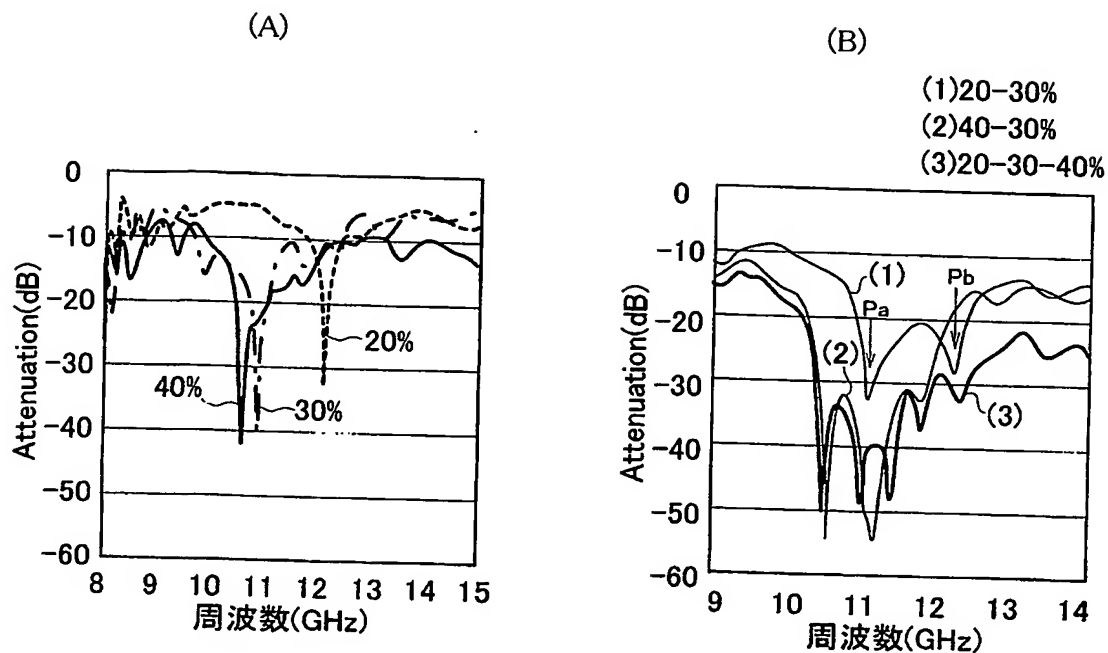
【図 8】



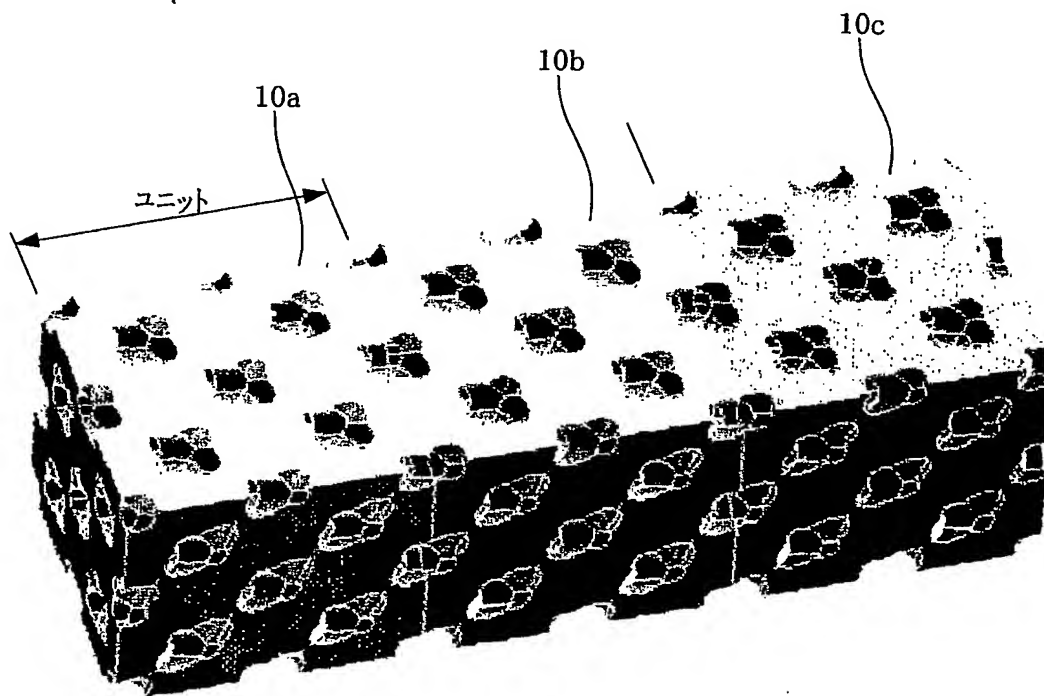
【図 9】



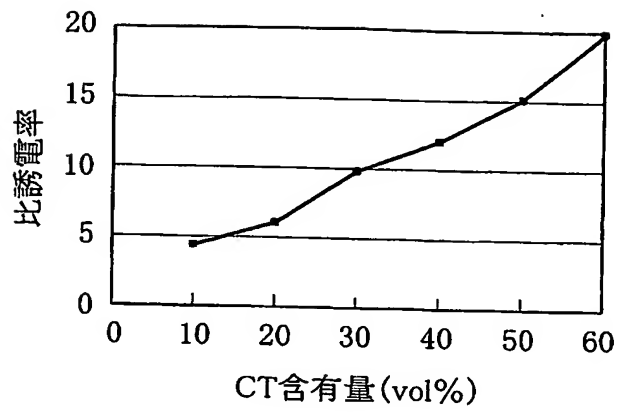
【図 10】



【図 11】



【図 12】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 従来の3次元周期構造体では得られなかった広範囲なフォトニックバンドギャップを有する3次元周期構造体およびその製造方法を提供する。

【解決手段】 光硬化性樹脂を用いた光造形法によりフォトニック結晶型ユニット10a, 10b, 10cを作成するとともに、その境界部分に仕切り11を設ける。各フォトニック結晶型ユニットの空隙部に、セラミックス粒子を分散させた第2の物質を含浸させて充填部2を構成する。この第1・第2の物質が3次元の周期性をもって分布する3次元周期構造体を、第1・第2の物質の誘電率比に違いをもたせて順に配置する。

【選択図】 図2

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[000006231]

1. 変更年月日

1990年 8月28日

[変更理由]

新規登録

住 所

京都府長岡京市天神二丁目26番10号

氏 名

株式会社村田製作所

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ BLACK BORDERS

☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

☐ FADED TEXT OR DRAWING

☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING

☐ SKEWED/SLANTED IMAGES

☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS

☐ GRAY SCALE DOCUMENTS

☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT

☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**